饲料中添加甜菜碱对管角螺摄食、生长性能、组织营养成分和消化酶活性的影响

周爽男　江茂旺　蒋霞敏*　杜学星　彭瑞冰　韩庆喜

（宁波大学海洋学院，宁波 315211）

摘　要：本试验旨在研究饲料中添加甜菜碱对管角螺摄食、生长性能、组织营养成分和消化酶活性的影响。选取初始体重为(22.54±0.25) g 的管角螺 630 只，随机分成 7 组，每组 3 个重复，每个重复 30 只。7 个试验组分别饲喂甜菜碱添加水平为 0（对照）、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%的等氮等脂的试验饲料，试验期 60 d。结果显示：甜菜碱添加水平为 0.2%~0.8%时，管角螺的摄食率、增重率、特定生长率和饲料效率均显著高于对照组(P<0.05)。当甜菜碱添加水平为 0.6%时，管角螺的摄食率、增重率和饲料效率达到最大值，而特定生长率在添加水平为 0.4%时达最大值。成活率各组之间无显著差异(P>0.05)。甜菜碱添加水平对管角螺肌肉、肝胰腺中水分和粗灰分含量未产生显著影响(P>0.05)。0.4%~1.2%组肌肉中粗蛋白质含量显著高于对照组(P<0.05)，粗脂肪含量显著低于对照组(P<0.05)。0.2%~1.2%组肝胰腺中粗蛋白质含量显著高于对照组(P<0.05)，粗脂肪含量显著低于对照组(P<0.05)。随着甜菜碱添加水平的增加，管角螺肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶的活性均呈现先升高后降低的趋势，当甜菜碱添加水平为 0.6%时，肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶活性均达到最大值，且均显著高于对照组(P<0.05)。综合以上结果得出，饲料中添加适宜水平的甜菜碱能够促进管角螺摄食，提高肌肉和肝胰腺中粗蛋白质含量，降低肌肉和肝胰腺中粗脂肪含量，提高肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶的活性，从而有利于管角螺的健康生长。以增重率为评价指标，经二次回归分析可知，管角螺饲料中甜菜碱的适宜添加水平为 0.55%。

关键词：管角螺；甜菜碱；摄食；生长；组织营养成分；消化酶

中图分类号：S917　　　　文献标识码：A　　　　文章编号：

甜菜碱为季胺型生物碱，广泛存在于动物、植物和微生物体内，因其是从甜菜加工副产品中分离出来而得名[1]。甜菜碱具有改善饲料风味、提高动物摄食量、促进动物生长、提高饲料转化率、减少水质污染等优点[2]。同时。甜菜碱还具有调节动物肾细胞的水分渗出、提高钠钾泵的功能、调节渗透压、保持维生素效价、缓解应激及作为抗氧化剂使用等功能[3]。甜菜碱作为甲基供体，参与氨基酸的合成和协同作用，进而在组织中对蛋白质合成和能量代

收稿日期：2018-01-19

基金项目：国家科技部星火计划(2015GA701040)、浙江省大学生科技成果推广项目资助(013450932)

作者简介：周爽男(1993-)，男，浙江宁波人，硕士研究生，从事水产养殖研究。E-mail: 575152485@qq.com

*通信作者：蒋霞敏，教授，博士生导师，E-mail: jiangxiamin@nbu.edu.cn

谢发挥重要作用[4]。目前，甜菜碱在水产养殖中已经被广泛应用，其作为饲料添加剂对很多鱼类、虾类具有明显的诱食作用，如饲料中添加适量的甜菜碱能显著提高虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)[5]、奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus*×*Oreochrmis aureus*)[6]、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)[7]、罗氏沼虾(*Macrobrachium Rosenbergii*)[8]、凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)[9]的增重率，而甜菜碱是否对养殖贝类摄食及生长产生影响还有待进一步研究。

管角螺(*Hemifusus tuba* Gmelin)俗称角螺、响螺、海螺或号螺，生活在潮下带近海 11~40 m 的软泥和泥沙质的海底，主要分布在我国浙江以南、广东、广西和海南沿海[10]。其软体部肥大，肉质细嫩，味道鲜美且富含蛋白质和不饱和脂肪酸等营养物质，具有极高的经济价值，深受国内外市场欢迎[11]。目前市场上出售的管角螺均捕自沿海海域，近些年随着管角螺的过度捕捞与海洋环境的日益恶化，管角螺资源日益枯竭，导致供不应求，价格逐步攀升，因而具有很高的养殖前景。因管角螺属肉食性动物，不喜欢摄食配合饲料，目前养殖管角螺过程中仍以缢蛏、菲律宾蛤仔等双壳类饵料为主，这就增加了养殖成本。这些贝类易受季节和禁渔期的影响，不能及时足量供应，因此尽快研制一种管角螺配合饲料诱食剂或添加剂已迫在眉睫。目前国内外关于管角螺的研究主要集中在种内残杀[12]、养殖技术[13-14]、营养成分[15-16]和生态习性[17-18]等方面，而对管角螺配合饲料添加剂的研究较少报道，仅见周爽男等[19]不同诱食剂种类对管角螺幼螺摄食、生长影响的报道。因此，本试验采用单因素试验设计，通过在配合饲料中添加不同水平的甜菜碱，探讨甜菜碱对管角螺摄食、生长性能、组织营养成分和消化酶活性的影响，为管角螺配合饲料的研制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲料制作

以国产鱼粉和秘鲁白鱼粉为主要蛋白质源，α-淀粉为糖源，混合油（鱼油：豆油=1：1）为脂肪源（金龙鱼豆油），配制 7 种等氮等脂的试验饲料（粗蛋白质含量为 47%、粗脂肪含量为 7%）。7 种试验饲料中甜菜碱的添加水平分别为 0（对照组）、0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%、1.2%。试验饲料组成及营养水平见表 1。试验用甜菜碱（纯度≥98%）和饲料原料均购自宁波天邦股份有限公司。将饲料原料粉碎，粉料过 100 目筛，按配方比例准确称量各种原料及甜菜碱，维生素预混料和矿物质预混料等微量成分采用逐级扩大法进行混合，加入事先熬好的明胶，再加入鱼油、豆油，最后加水，用饲料混合机搅拌混合均匀，成团状，用手动绞肉机挤压制作成直径为 2 mm、长度为 10~15 mm 的长条，60 ℃烘干，放入保鲜袋中，于 -20 ℃冰箱中保存待用。

表 1　试验饲料组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	甜菜碱添加水平 Betaine supplemental level/%						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
原料 Ingredients							
去皮豆粕 Dehulled soybean meal	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
去皮花生粕 Dehulled peanut meal	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
国产鱼粉 Domestic fish meal	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
秘鲁白鱼粉 Peru white fish meal	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
α-淀粉 α-starch	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
矿物质预混料 Mineral premix[2)]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
鱼油 Fish oil	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
豆油 Soybean oil	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
糊精 Dextrin	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
明胶 Gelatin	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
额外添加甜菜碱 Additional betaine		0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
营养水平 Nutrient levels[3)]							
粗蛋白质 Crude protein	47.12	46.96	47.06	46.91	47.15	47.04	47.12
粗脂肪 Crude lipid	6.87	6.93	7.11	6.89	7.12	6.97	6.91
粗灰分 Ash	9.96	9.85	10.03	10.21	9.83	10.16	10.08

[1)]维生素预混料为每千克饲料提供 The vitamin premix provided the following per kg of diets：VA 2 500 IU，VD 500 IU，VE 70 mg，VK_3 25 mg，VB_1 16 mg，VB_2 10 mg，VB_6 18 mg，VB_{12} 0.05 mg，烟酸 nicotinic acid 50 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 45 mg，叶酸 folic acid 3.5 mg，肌醇 inositol 70 mg。

[2)]矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix provided the following per kg of diets：$FeSO_4·7H_2O$ 6 mg，$CuSO_4·5H_2O$ 1.5 mg，$MnSO_4·H_2O$ 16 mg，$ZnSO_4·7H_2O$ 20 mg，$MgSO_4·7H_2O$ 200 mg，$CaCl_2$ 65 mg，$CoCl_2$ 0.02 mg，KI 10 g，Na_2SeO_3 0.01mg。

[3)]营养水平均为实测值。Nutrient levels were all measured values.

1.2 饲养管理

养殖试验在宁波市象山县周家村育苗厂进行。试验所用管角螺购自浙江省象山县石浦镇石浦渔港，试验前先将管角螺放于泡沫箱(58.0 cm×31.5 cm×44.5 cm)中，暂养 1 周，投喂对照组饲料至摄食正常，饥饿 1 d 后开始正式试验。选取 630 只壳高（7.23±0.25） cm、体重（22.54±0.25） g 的管角螺，随机分为 7 组，每组 3 个重复，每个重复 30 只。每组管角螺随机饲喂 1 种试验饲料。试验所用海水经沉淀、沙滤处理，水体高（15±1） cm，水温（26.5±1.5） ℃，盐度 22±2、pH 7.6~8.2，24 h 连续充气，溶解氧浓度大于 4.0 mg/L。日投饵量为总体重的 6%，日投喂 2 次(06:00、17:00)，投饵后 6 h 捞取残饵，烘干并称重，养殖

前期隔天换水 1 次，换水量 100%，养殖中、后期每天换水 1 次，换水量为 50%~100%。试验期 60 d。

1.3 样品采集与指标测定

1.3.1 样品采集

养殖试验结束饥饿 24 h 后，以重复为单位称重、计数，统计摄食量，计算摄食率(feeding rate，FR)、增重率(weight gain rate，WGR)、特定生长率(specific growth rate，SGR)、饲料效率(feed efficiency，FE)和成活率(survival rate，SR)。每个重复随机取 3 只螺，分离足部肌肉和肝胰腺，液氮速冻后-80 ℃保存。

1.3.2 肌肉和肝胰腺中营养成分的测定

粗蛋白质含量测定采用凯氏定氮法（GB/T 5009.5-2003）测定，粗脂肪含量采用索氏抽提法（GB/T 5009.6-2003）测定，水分含量采用干燥法（GB/T 5009.3-2003）测定，粗灰分含量采用高温灼烧法（GB/T 5009.4-2003）测定。

1.3.3 肝胰腺消化酶活性分析

将肝胰腺剪碎混合取样，匀浆后取上清液，分装后置于-80 ℃保存待用，使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定脂肪酶、胰蛋白酶和淀粉酶活性，测定步骤按说明书进行。

1.3.4 摄食、生长性能指标计算公式

摄食率[g/(d·只)]=$\sum(W_{fr} / N) / t$；

增重率(%)=$100\times(M_2-M_1)/M_1$；

特定生长率(%/d)=$100\times(\ln M_2-\ln M_1) / t$；

饲料效率(%)=$100\times(M_2-M_1)/M_f$；

存活率(%)=$100\times N_2/N_1$。

式中：W_{fr} 为总摄食量(g)；N 为每个泡沫箱养殖管角螺的数量；t 为试验时间(d)；M_1 为开始试验时螺的体重(g)；M_2 为试验结束时螺的体重(g)；M_f 为干物质摄入量(g)；N_2 为试验结束时每箱存活的螺个数；N_1 为试验开始时每箱放入的螺个数。

1.4 统计分析

试验数据以平均值±标准差形式表示，经 Excel 2003 整理后，用 SPSS 19.0 对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，再用 Duncan 氏法进行多重比较，分析组间差异显著性，显著水平 $P<0.05$。

2 结　果

2.1　饲料中添加甜菜碱对管角螺摄食、生长性能的影响

由表 2 可知，随着甜菜碱添加水平的增加，管角螺的摄食率、增重率、特定生长率和饲料效率均先增加后降低，甜菜碱添加水平为 0.6%时摄食率、增重率和饲料效率达到最大值，甜菜碱添加水平为 0.4%时特定生长率达最大值。0.6%组的增重率、特定生长率和饲料效率与 0.4%组无显著差异(P>0.05)，但显著高于其他组(P<0.05)，同时 0.6%组的摄食率显著高于其他组(P<0.05)。甜菜碱添加水平为 1.2%时，增重率、特定生长率显著低于对照组(P<0.05)，而摄食率、饲料效率与对照组无显著差异(P>0.05)。各组成活率无显著差异(P>0.05)。

表 2　饲料中添加甜菜碱对管角螺摄食、生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary betaine on feeding and growth performance of *Hemifusus tuba* Gmelin

项目 Items	甜菜碱添加水平 Betaine supplemental level/%						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
摄食率 FR/[g/(d·只)]	0.53±0.02^{a}	0.59±0.03^{bc}	0.63±0.01^{d}	0.66±0.01^{e}	0.62±0.03^{cd}	0.57±0.02^{b}	0.51±0.01^{a}
增重率 WGR/%	43.96±2.62^{b}	50.52±1.35^{c}	57.14±1.18^{de}	59.81±1.95^{e}	53.80±2.34^{cd}	46.74±3.29^{b}	39.65±0.87^{a}
特定生长率 SGR/(%/d)	0.61±0.03^{b}	0.68±0.03^{c}	0.77±0.02^{d}	0.76±0.01^{d}	0.72±0.02^{c}	0.64±0.04^{b}	0.56±0.02^{a}
饲料效率 FE/%	30.22±0.46^{a}	32.92±0.65^{c}	34.70±0.76^{de}	35.79±1.03^{e}	33.61±0.64^{cd}	31.58±0.88^{b}	29.74±0.69^{a}
成活率 SR/%	98.89±1.92	100.00±0.00	97.78±1.92	100.00±0.00	100.00±0.00	96.67±5.77	97.78±3.85

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05). The same as below.

分别以管角螺的摄食率、增重率、特定生长率和饲料效率为因变量，甜菜碱添加水平为自变量，由曲线模型拟合回归方程。由管角螺摄食率（y）与甜菜碱添加水平（x）建立的回归方程为 y=-0.339x^2+0.388x+0.529 6(R^2=0.964 4)，由方程得出，当甜菜碱添加水平为 0.57%时，摄食率达最大值（图 1）；由管角螺增重率（y）与甜菜碱添加水平（x）建立的回归方程为 y=-45.836x^2+50.748x+43.617(R^2=0.958 4)，由方程得出，当甜菜碱添加水平为 0.55%时，增重率达最大值（图 2）；由管角螺特定生长率（y）与甜菜碱添加水平（x）建立的回归方程为 y=-0.497 8x^2+0.545 8x+0.606 7(R^2=0.970 6)，由方程得出，当甜菜碱添加水平为 0.55%时，特定生长率达最大值（图 3）；由管角螺饲料效率（y）与甜菜碱添加水平（x）建立的回归方程为 y=-14.372x^2+16.316x+30.335(R^2=0.939 7)，当甜菜碱添加水平为 0.57%时，饲料效率达最大值（图 4）。

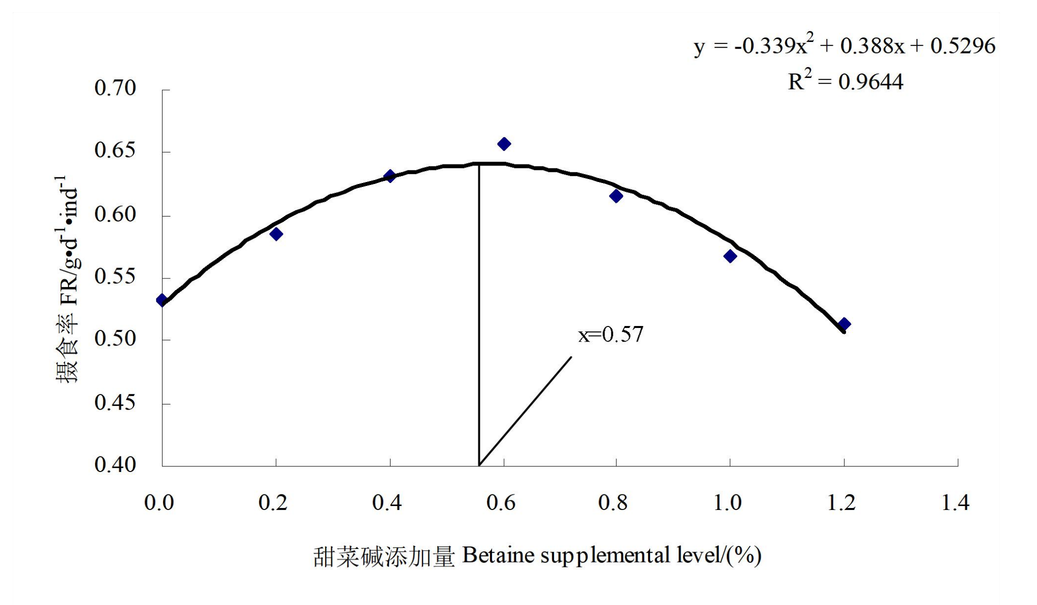


图 1　甜菜碱添加水平与管角螺摄食率的关系

Fig.1　Relationship between betaine supplemental level and FR of *Hemifusus tuba* Gmelin

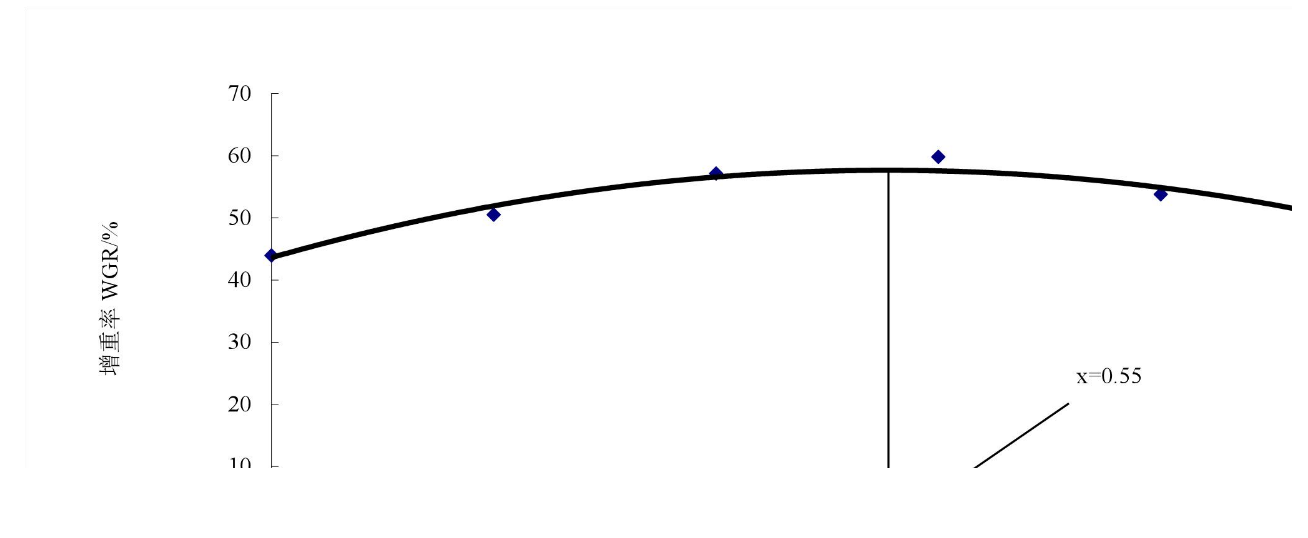


图 2　甜菜碱添加水平与管角螺增重率的关系

Fig.2　Relationship between betaine supplemental level and WGR of *Hemifusus tuba* Gmelin

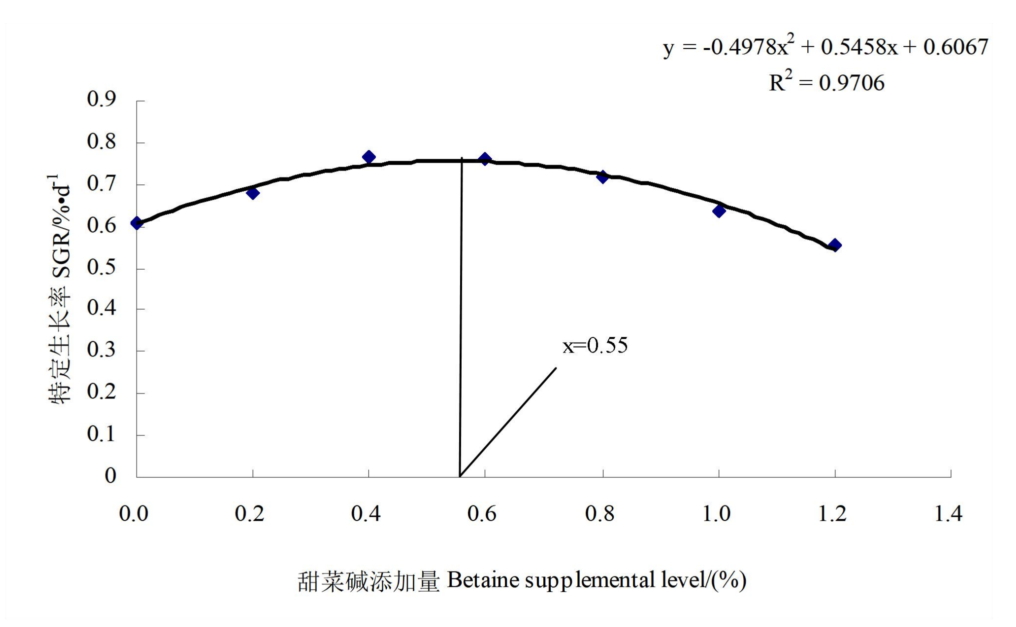


图 3 甜菜碱添加水平与管角螺特定生长率的关系

Fig.3 Relationship between betaine supplemental level and SGR of *Hemifusus tuba* Gmelin

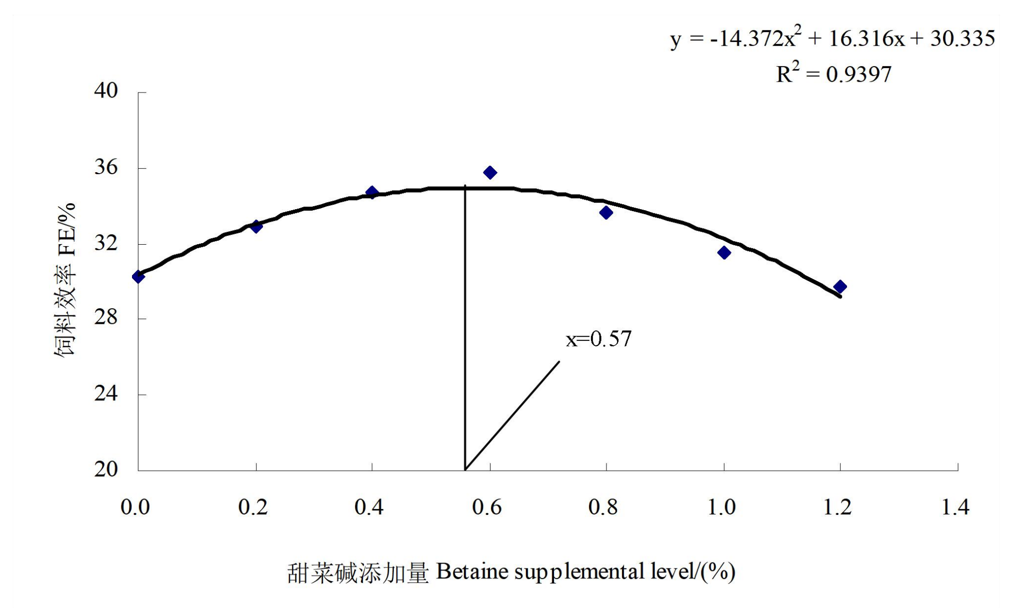


图 4 甜菜碱添加量与管角螺饲料效率的关系

Fig.4 Relationship between betaine supplemental level and FE of *Hemifusus tuba* Gmelin

2.2 饲料中添加甜菜碱对管角螺肌肉、肝胰腺中营养成分的影响

由表 3 可知，随着甜菜碱添加水平的增加，肌肉中粗蛋白质含量呈先增加后降低的趋势，在甜菜碱添加水平为 0.6%时达到最大值，0.2%组与对照组无显著差异(P>0.05)，但二者均显著低于其他组(P<0.05)。随着甜菜碱添加水平的增加，肌肉中粗脂肪含量呈先减少后稳定的趋势，0.2%组与对照组无显著差异(P>0.05)，但二者均显著高于其他组(P<0.05)。肌肉中水分和粗灰分含量各组之间无显著差异(P>0.05)。肝胰腺中粗蛋白质含量随着甜菜碱添加水平

的增加呈先增加后降低的趋势，各甜菜碱添加组间无显著差异(P>0.05)，但均显著高于对照组(P<0.05)。肝胰腺中粗脂肪含量则随着甜菜碱添加水平的增加呈先降低后增加的趋势，在甜菜碱添加水平为 0.8%时达到最小值，且各甜菜碱添加组均显著低于对照组(P<0.05)。肝胰腺中水分和粗灰分含量各组之间无显著差异(P>0.05)。

表 3　饲料中添加甜菜碱对管角螺肌肉、肝胰腺中营养成分的影响

Table 3　Effects of dietary betaine on nutritional components in muscle and hepatopancreas of *Hemifusus tuba*

Gmelin　　%

项目 Items	甜菜碱添加水平 Betaine supplemental level/%						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
肌肉 Muscle							
水分 Moisture	76.33±0.76	75.55±0.67	75.78±1.04	75.56±0.96	75.23±1.03	75.67±1.15	75.93±1.22
粗蛋白质 Crude protein	19.03±0.23^{a}	19.22±0.34^{a}	20.63±0.75^{bc}	20.85±0.33^{bc}	20.96±0.46^{c}	20.24±0.50^{bc}	20.10±0.29^{b}
粗脂肪 Crude lipid	0.31±0.01^{a}	0.29±0.02^{a}	0.25±0.01^{b}	0.23±0.02^{b}	0.22±0.03^{b}	0.22±0.02^{b}	0.22±0.02^{b}
粗灰分 Ash	2.38±0.12	2.27±0.08	2.36±0.17	2.36±0.13	2.32±0.07	2.29±0.03	2.36±0.09
肝胰腺 Hepatopancreas							
水分 Moisture	76.73±1.35	76.54±2.01	75.88±1.15	76.49±1.13	75.92±1.42	76.64±0.98	76.27±0.67
粗蛋白质 Crude protein	16.24±0.33^{a}	17.15±0.45^{b}	17.96±0.26^{b}	18.05±0.52^{b}	17.61±0.63^{b}	17.57±0.67^{b}	17.22±0.49^{b}
粗脂肪 Crude lipid	2.79±0.13^{a}	2.46±0.09^{b}	2.23±0.21^{bc}	2.08±0.22^{c}	2.05±0.16^{c}	2.14±0.17^{bc}	2.17±0.26^{bc}
粗灰分 Ash	2.66±0.28	2.71±0.09	2.62±0.72	2.49±0.56	2.61±0.67	2.58±0.53	2.54±0.66

2.3 饲料中添加甜菜碱对管角螺肝胰腺消化酶活性的影响

由表 4 可知，随着甜菜碱添加水平的增加，肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶活性均呈先升高后降低的趋势，0.2%~1.0%组均显著高于对照组和 1.2%组(P<0.05)。甜菜碱添加水平为 0.6%时，管角螺肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶活性均最高，除脂肪酶、淀粉酶活性与 0.4%和 0.8%组无显著差异(P>0.05)外，脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶活性均显著高于其他各组(P<0.05)。

表 4　饲料中添加甜菜碱对管角螺肝胰腺消化酶活性的影响

Table 4　Effects of dietary betaine on digestive enzyme activities in hepatopancreas of *Hemifusus tuba*

Gmelin　　U/g prot

项目 Items	甜菜碱添加量 Betaine supplemental level/(%)						
	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
脂肪酶 Lipase	29.12±1.25^{a}	32.71±2.18^{b}	36.65±1.77^{c}	37.29±1.91^{c}	35.18±0.94^{bc}	33.37±2.32^{b}	28.52±0.63^{a}
胰蛋白酶 Protease	1 327.42±43.26^{a}	1 544.90±22.18^{bc}	1 598.84±64.33^{c}	1 719.83±83.25^{d}	1 527.57±18.69^{bc}	1 462.35±92.14^{b}	1 303.53±37.87^{a}
淀粉酶 Amylase	154.39±15.67^{a}	161.55±8.94^{a}	197.38±11.20^{bc}	221.43±24.61^{c}	216.57±16.83^{bc}	188.70±17.46^{b}	156.87±9.54^{a}

3 讨　论

3.1 饲料中添加甜菜碱对管角螺摄食、生长性能的影响

甜菜碱是一种季胺型生物碱，其化学结构与甘氨酸相近，味甜稍苦，能产生鱼类、甲壳类等水产动物所喜爱的独特风味，从而对水产动物的嗅觉、味觉形成刺激，使水产动物的消化腺分泌增强，进而摄食率大大增加[20]。同时，甜菜碱能掩盖配合饲料的不适口味，促进水产动物摄取不喜食的营养成分，减少饵料消耗，提高饲料转化率，因而甜菜碱在水产养殖中是一种非常有效的化学诱食剂[21]。有研究表明，甜菜碱能使水产动物三碘甲状腺原氨酸(T_3)和胰岛素的分泌增加，通过神经-内分泌水平调控机体代谢活动，从而实现甜菜碱促进生长的功能[22]。与在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)[23]、露斯塔野鲮(*Labeo rohita*)[24]、大鳞大麻哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*)[25]等鱼类上得出的结果类似，本试验结果显示甜菜碱对管角螺也有很强的诱食作用，在 0～0.6%范围内，随着甜菜碱添加水平的增加，管角螺的摄食率、增重率、特定生长率和饲料效率均逐渐增加，且与对照组有显著差异，说明在此添加范围内甜菜碱添加水平越高，对管角螺嗅觉和味觉形成的刺激越强，采食量就越大。

在动物体内，甲基供体一般不能被合成，必须从外界补充。而甲基是动物体内各种物质代谢不可缺少的重要物质，甲基化反应在神经系统、内分泌系统、免疫系统、泌尿系统和心血管系统中都具有十分重要的作用。甲基供体如果不足或过多，会导致动物生长紊乱和发生病变[26]。甜菜碱是一种高效的甲基供体，能提供有效的活性甲基，节约氨基酸而使更多的氨基酸用于体蛋白质的合成[27]。但有研究结果表明，当饲料甜菜碱添加水平超过一定值后，其对黄鳝(*Monopterus albus*)[28]和短盖巨脂鲤(*Colossma brachypomum*)[29]的促生长效果会迅速下降。本试验中，当甜菜碱添加水平超过 0.6%之后，管角螺的摄食率和增重率便逐渐降低，说明 0.6%的添加水平已经可以满足管角螺的生长、营养需要和代谢稳定。尤其是当甜菜碱添加水平为 1.2%时，管角螺的摄食率和增重率均不如未添加甜菜碱的对照组，说明过量添加的甜菜碱已经抑制了管角螺的生长。

甜菜碱除了具有促食作用，还能增强一些水生动物的免疫能力，预防疾病，提高成活率，如饲料添加甜菜碱能显著提高白梭吻鲈(*Sander lucioperca*)[30]、黄鳝[28]的存活率。在本试验中，饲料添加甜菜碱并未对管角螺的成活率产生显著影响，在对库图拟鲤(*Rutilus Frisii Kutum*)[31]、奥利亚罗非鱼(*Oreochromis aureus*)[32]的研究中也得出相似结论，说明甜菜碱对水生动物存活率的影响因种而异。

3.2 饲料中添加甜菜碱对管角螺组织营养成分含量的影响

甜菜碱除了对水产动物有促生长作用外，还具有改善水产动物机体营养组成，提高肉质的功能。例如，投喂里海拟鲤(*Rutilus rutiluscaspicus*)适量的甜菜碱，其肌肉中粗蛋白质含量

显著升高[33]；黄鳝肌肉和肝脏中粗脂肪含量随甜菜碱添加水平的增加而逐渐下降[34]；饲料中添加 0.01%的甜菜碱能显著降低异育银鲫肌肉和肝脏中粗脂肪含量，当甜菜碱添加水平为 0.10%时，异育银鲫血清中甘油三酯和总胆固醇含量分别降低 7.23%和 15.86%[35]。本试验中，饲料添加甜菜碱对管角螺肌肉与肝胰腺中水分和粗灰分含量均无显著影响，但粗蛋白质含量有一定程度的上升，粗脂肪含量有一定程度的下降，这是因为：一方面，甜菜碱能合成磷脂酰胆碱参与动物体内的脂肪运输，还能通过提供甲基代替蛋氨酸参与脂肪代谢，而蛋氨酸的供甲基消耗降低了，就能合成更多的蛋白质；另一方面，甜菜碱能增加高半胱氨酸-S-基转移酶的活性，促进了高半胱氨酸向机体必需氨基酸——蛋氨酸的转化，蛋氨酸主要用于蛋白质的合成，因此甜菜碱起到了净增蛋氨酸的功效[26]。此外，甜菜碱还可以加速机体内细胞线粒体中脂肪酸的氧化过程，提高肌肉和肝胰腺中长链酯酰肉碱的含量及长链酯酰肉碱与游离肉碱的比例，促进脂肪分解，减少体脂肪沉积，有效地减少水产动物脂肪肝的发生[22,36]。因此，甜菜碱的添加促进了动物体内蛋白质的合成和沉积以及脂肪的分解。

3.3 饲料中添加甜菜碱对管角螺肝胰腺消化酶活性的影响

消化酶活性是反映动物消化生理状况和对营养物质利用能力的重要指标，其活性高低直接影响动物对营养物质的吸收和利用程度[37]。当水生生物生长速度较快时，其机体的新陈代谢较活跃，体内的消化酶活性也相对较高。甜菜碱可通过诱食和参与机体内甲基化等作用，增强动物肝胰腺的消化和吸收功能。阎希柱等[38]研究发现，当饲料中甜菜碱添加水平分别为 1.5%和 0.8%时，尼罗罗非鱼(*Tilapia nilotica*)肝胰脏的蛋白酶和淀粉酶活性最高。研究发现，饲料中甜菜碱添加水平为 0.7%时，长吻鮠(*Leioeasis longirostris*)肝胰脏中蛋白酶活性最高[39]；饲料中甜菜碱添加水平为 0.5%时，斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)肠道中淀粉酶和蛋白酶活性均显著提高[40]；饲料中甜菜碱添加水平为 1.5%时，黄鳝胃、肠道和肝胰脏中蛋白酶、胰蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶的活性均达到最大值[41]。而本试验发现管角螺肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶活性均在甜菜碱添加水平为 0.6%时最高。这说明甜菜碱在诱导管角螺摄食的过程中，摄入的食物刺激肝胰腺分泌更多的与脂肪、淀粉、蛋白质消化相关的酶，从而有利于机体更好地消化饲料中的营养物质，促进生长。此外，本试验还发现管角螺肝胰腺中淀粉酶活性比脂肪酶活性要高，这与在蛛形互爱蟹(*Hyas araneus*)[42]上的研究结果类似。

4 结 论

① 饲料中添加适宜水平的甜菜碱能够促进管角螺摄食，提高肌肉和肝胰腺中粗蛋白质含量，降低肌肉和肝胰腺中粗脂肪含量，提高肝胰腺中脂肪酶、胰蛋白酶、淀粉酶的活性，从而有利于管角螺的健康生长。

② 以增重率为评价指标，经经二次回归分析可知，管角螺饲料中甜菜碱的适宜添加水平为0.55%。

参考文献：

[1] 冯幼，许合金，刘定,等.甜菜碱在水产动物生产中的应用[J].饲料博览,2013(8):38-40.

[2] TIRIL S U,ALAGIL F,YAGCI F B,et al.Effects of betaine supplementation in plant protein based diets on feed intake and growth performance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].The Israeli Journal of Aquaculture,2008,60(1):57–64.

[3] 高银爱,夏儒龙,曾红松,等.饲料中添加甜菜碱对大口鲶生长的影响[J].内陆水产,2001(10):7.

[4] 郝生燕,刘陇生,王国栋,等.饲粮中添加甜菜碱对热应激蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(1):184–192.

[5] BEKLEVIK G,POLAT A.Effects of *DL*-alanine and betaine supplemented diets on the growth and body composition of fingerling rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*,W.1972)[J].Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences,2001,25(3):301–307.

[6] 朱定贵,于丹,陈涛,等.甜菜碱对奥尼罗非鱼生长、体脂含量及血清生化指标的影响[J].上海海洋大学学报,2011,20(2):224–229.

[7] 宦海琳,汪益峰,周维仁,等.*L*-肉碱、甜菜碱、氯化胆碱对异育银鲫生长性能及肌肉品质的影响[J].饲料工业,2009,30(24):31–33.

[8] FELIX N,SUDHARSAN M.Effect of glycine betaine,a feed attractant affecting growth and feed conversion of juvenile freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii*[J].Aquaculture Nutrition,2004,10(3):193–197.

[9] PONPAI T,PENPRAPAI N,LERSSUTTHICHAWAL T,et al.Effect of betaine on growth performance and resistance on *Vibriosis* in white shrimp (*Penaeus vannamei*)[J].Songklanakarin Journal of Science and Technology,2007,29(5):1275–1282.

[10] 杨泽琴,李荣华,母昌考,等.管角螺受精过程的荧光显微观察及保育卵形成分析[J].水产学报,2016,40(11):1674–1682.

[11] 王文杰,潘奕达,周于娜,等.管角螺性畸变现象的组织解剖学研究及扫描电镜观察[J].水产学报,2014,38(11):1865–1878.

[12] Mortem B.Juvenile growth of the South China Sea whelk *Hemifusus tuba* (Gmelin) (Prosobranchia:Melongenidae) and the importance of sibling cannibalism in estimates of

consumption[J].Journal of Experimental Marine Biology and Ecology,1987,109(1):1–14.

[13] 王兵兵,王梅芳,李双波,等.管角螺幼螺网笼吊养技术初探[J].热带生物学报,2012,3(1):83–87.

[14] 罗杰,刘皓,李锋,等.滩涂围网、网箱及水泥池养殖管角螺的比较[J].水产养殖,2016,37(12):1–6.

[15] 朱爱意,赵向炯,杨运琪.东极海区管角螺软体部的营养成分分析[J].南方水产科学,2008,4(2):63–68.

[16] 蒋霞敏,姜小敏,杜学星,等.不同规格管角螺肌肉营养成分分析[J].动物营养学报,2012,24(10):2059-2066.

[17] 罗杰,刘楚吾,黄翔鹄.盐度对管角螺胚胎发育的影响[J].广东海洋大学学报,2007,27(3):24–28.

[18] 杜涛,罗杰,刘楚吾,等.温度对管角螺 *Hemifusus tuba* Gmelin 胚胎发育的影响[J].海洋科学,2010,34(6):44–49.

[19] 周爽男,杜学星,彭瑞冰,等.不同诱食剂种类对管角螺幼螺摄食、生长的影响[J].宁波大学学报（理工版）,2017,30(6):42–47.

[20] 阎希柱.鱼类饲料添加剂甜菜碱的作用及其机理[J].饲料研究,1997(7):2–4.

[21] 龚宏伟,陈蓉.甜菜碱溶液对黄颡鱼趋向行为引诱作用的初步研究[J].淡水渔业,2003,33(2):13–15.

[22] 陆清儿,李行先,李忠全.甜菜碱促进淡水白鲳生长的机制[J].水产学报,2003,27(6):564–569.

[23] 张文超,梁桂英,阳会军,等.饲料中添加甜菜碱对军曹鱼生长、体营养成分和血清生化指标的影响[J].南方水产科学,2012,8(3):1–9.

[24] SHANKAR R,MURTHY H S,PAVADI P,et al.Effect of betaine as a feed attractant on growth,survival,and feed utilization in fingerlings of the Indian major carp,*Labeo rohita*[J].The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh,2008,60(2):95–99.

[25] CLARKE W C,VIRTANEN E,BLACKBURN J,et al.Effects of a dietary betaine/amino acid additive on growth and seawater adaptation in yearling chinook salmon[J].Aquaculture,1994,121(1/2/3):137–145.

[26] 战歌.饲料中添加 *L*-肉碱和甜菜碱对罗非鱼生长及脂肪代谢的影响[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2008.

[27] 宦海琳,汪益峰,周维仁,等.不同生物碱对异育银鲫生长及脂肪代谢的影响[J].江苏农业科学,2010(6):375–377.

[28] 冯家斌,阮国良,杨代勤.不同剂量甜菜碱对黄鳝存活、生长和免疫能力的影响[J].饲料工业,2006,27(14):27–28.

[29] 陆清儿,李忠全,李行先.盐酸甜菜碱对短盖巨脂鲤脂肪代谢的影响[J].海洋与湖沼,2003,34(3):306–312.

[30] ZAKIPOUR R E,AKBARI M,ARSHADI A,et al.Effect of different levels of dietary betaine on growth performance,food efficiency and survival rate of pike perch (*Sander lucioperca*) fingerlings[J].Iranian Journal of Fisheries Sciences,2012,11(4):902–910.

[31] JABARI E,AKRAMI R,CHITSAZ H,et al.Effect of betaine as a feed attractant on growth,survival,body composition and response to environmental stress in Kutum (*Rutilus frisii kutum*) fingerling[J].Iranian Scientific Fisheries Journal,2017,26(1):83–93.

[32] GENC M A,TEKELIOGLU N,YILMAZ E,et al.Effect of dietary betaine on growth performance and body composition of *Oreochromis aureus* reared in fresh and sea waterA comparative study[J].Journal of Animal and Veterinary Advances,2006,5(12):1185–1188.

[33] FATTAHI S,HOSSEINI S A,SUDAGAR M.The effects of dietary betaine on the growth performance and carcass synthesis of caspian roach (*Rutilus rutiluscaspicus*) fingerlings[J].Scientific Journal of Animal Science,2013,2(5):132–137.

[34] 陈芳,杨代勤,阮国良,等.甜菜碱对黄鳝生长及肌肉与肝脏脂肪含量的影响研究[J].湖北农学院学报,2004,24(3):190–192.

[35] 李红霞,刘文斌,李向飞,等.饲料中添加氯化胆碱、甜菜碱和溶血卵磷脂对异育银鲫生长、脂肪代谢和血液指标的影响[J].水产学报,2010,34(2):292–299.

[36] 罗琳,高鹏,薛敏,等.复合甜菜碱对鲤鱼生长和脂肪代谢的影响研究[J].饲料研究,2003(8):1–3.

[37] 靳立兵,张林林,李荣华,等.不同饵料对管角螺生长、肝脏消化酶活性及软体部营养成分的影响[J].海洋科学,2013,37(6):66–72.

[38] 阎希柱,邱岭泉.饲料中添加甜菜碱对尼罗罗非鱼蛋白酶、淀粉酶活性的影响[J].中国水产科学,1997,4(1):88–93.

[39] 杨加琼,黄军.甜菜碱对长吻鮠主要消化器官蛋白酶的影响[J].饲料工业,2006,27(22):22–24.

[40] 伍莉,陈鹏飞,罗绍禄,等.不同添加剂对斑点叉尾鮰肠道蛋白酶、淀粉酶活力的影响[J].饲料研究,2002(1):4–7.

[41] 胡武波,阮国良,杨代勤.甜菜碱对黄鳝消化酶活性的影响[J].长江大学学报:自然科学版,2011,8(3):229–232.

[42] HIRCHE H J,ANGER K.Digestive enzyme activities during larval development of *Hyas araneus*(Decapoda,Majidae)[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Comparative Biochemistry,1987,87(2):297–302.

Effects of Dietary Betaine on Feeding, Growth Performance, Tissues Composition and Digestive Enzyme Activities of *Hemifusus tuba* Gmelin

ZHOU Shuangnan JIANG Maowang JIANG Xiamin* DU Xuexing PENG Ruibing Han Qingxi

(*School of Marine Sciences*，*Ningbo University*，*Ningbo* 315211，*China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary betaine supplemental level on feeding, growth performance, tissues composition and digestive enzyme activities of *Hemifusus tuba* Gmelin. A total of 630 snails with an average body weight of 22.54±0.25 g were randomly divided into 7 groups with 3 replicates in each group and 30 snails in each replicate. The snails in the 7 groups were fed isonitrogenous and isoenergetic diets with different betaine supplemental level of 0, 0.2%, 0.4%, 0.6%, 0.8%, 1.0% and 1.2% for 60 days. The results showed that the dietary betaine supplemental level significantly affected feeding and growth of *Hemifusus tuba* Gmelin (P<0.05). The feeding rate, weight gain rate, specific growth rate and feed efficiency were significantly higher than control group when dietary betaine supplemental level was between 0.2% to 0.8% (P<0.05). When dietary betaine supplemental level was 0.6%, The feeding rate, weight gain rate and feed efficiency all had the maximum value, and the specific growth rate had the maximum value when dietary betaine supplemental level was 0.4%. The survival rate was not significantly influenced by dietary betaine (P>0.05). The dietary betaine supplemental level had no significant effect on the contents of moisture or ash in muscle and hepatopancreas of *Hemifusus tuba* Gmelin (P>0.05), but there was significant effect on the contents of crude protein or crude lipid (P<0.05). The content of crude protein of muscle was significantly higher than that of control group (P<0.05), and the content of crude lipid was significantly lower than that of control group

when dietary betaine supplemental level was between 0.4% to 1.2% (P<0.05). Moreover, the content of crude protein of hepatopancreas was significantly higher than control group (P<0.05), and the content of crude lipid was significantly lower than control group when dietary betaine supplemental level was between 0.2% to 1.2% (P<0.05). With the dietary betaine supplemental level increasing, lipase, protease and amylase activities in hepatopancreas of *Hemifusus tuba* Gmelin were all firstly increased and then decreased. Lipase, protease and amylase activities were all had the maximum value at 0.6% group, and significantly higher than those of control group (P<0.05). Therefore, dietary proper betaine supplemental level could promote significantly feeding, growth performance, improve protein content and decrease lipid content in muscle and hepatopancreas of *Hemifusus tuba* Gmelin. The regression model analysis shows that the optimal dietary betaine supplemental level which can make snails acquire the best weight gain rate is 0.55%.

Key words: *Hemifusus tuba* Gmelin; betaine; feeding; growth performance; tissues composition; digestive enzyme